昆 虫 学 报 *Acta Entomologica Sinica*, July 2013, 56(7): 786 – 791　　ISSN 0454-6296

温湿度对稻纵卷叶螟卵的联合作用

方源松，廖怀建，钱　秋，刘向东*
（南京农业大学植物保护学院，农作物生物灾害综合治理教育部重点实验室，南京 210095）

摘要：为了探讨温湿度在稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis*（Guenée）种群发展中的作用，通过室内实验调查了不同温度和湿度组合下该蛾卵的发育历期、胚胎发育情况、孵化率和卵粒重量的变化。结果表明：在相同温度下卵历期随相对湿度的增大而缩短，孵化率随相对湿度的加大而提高。在 22℃下低于 46% 的相对湿度显著降低了卵的孵化率，而在 25～34℃下低于 66% 的相对湿度会引起孵化率的显著降低，37℃下卵无论在何种湿度中均不能孵化。在 50% 左右的低湿条件下，温度高于 28℃后卵也不能孵化。温度在 22～31℃和相对湿度在 77%～100% 范围内，卵的孵化率无显著差异，这属于稻纵卷叶螟卵的适宜温湿度范围。稻纵卷叶螟卵的发育起点温度和有效积温分别为 10.1±0.6℃和 63.7±3.5 日度。卵的孵化率（*Y*）与温湿系数（*RH/T*）间呈显著的逻辑斯蒂曲线关系 $Y=0.8662/[1+\exp(17.4084-7.5714\times RH/T)]$。温湿系数在 2.34 以下时卵孵化率将低于 50%，而达到3.0左右时孵化率接近最高值。结论认为，低湿造成的稻纵卷叶螟卵重量显著降低、卵粒干瘪、胚胎发育受阻是致死卵的主要原因。

关键词：稻纵卷叶螟；卵；温度；相对湿度；发育历期；孵化率；胚胎发育
中图分类号：Q968　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0454-6296(2013)07-0786-06

Combined effects of temperature and relative humidity on eggs of the rice leaf folder, *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae)

FANG Yuan-Song, LIAO Huai-Jian, QIAN Qiu, LIU Xiang-Dong* (Key Laboratory of Integrated Management of Crop Diseases and Pests, Ministry of Education, College of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: In order to explore the roles of temperature and relative humidity in population development of the rice leaf folder, *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée), the duration, embryo development, hatchability and weight loss of eggs of this moth under different temperature and relative humidity were investigated in the laboratory experiments. The results showed that egg duration significantly shortened and egg hatchability significantly increased as relative humidity increased. Egg hatchability significantly reduced when relative humidity was less than 46% and 66% at 22℃ and 25 – 34℃, respectively, and no eggs were hatched at 37℃ under any relative humidity (46% – 100%). Under the conditions of relative humidity less than 50% and temperature higher than 28℃, all eggs could not be hatched either. The optimal temperature and relative humidity ranges for rice leaf folder eggs were 22 – 31℃ and 77% – 100%, respectively. The lower threshold temperature for development and effective accumulated temperature of eggs were 10.1 ± 0.6℃ and 63.7 ± 3.5 day degrees, respectively. The relationship between egg hatchability (*Y*) and the ratio of relative humidity to temperature (*RH/T*) fitted the logistic model very well, $Y=0.8662/[1+\exp(17.4084-7.5714\times RH/T)]$. When the *RH/T* value was less than 2.34, egg hatchability would be less than 50%. The optimal *RH/T* was about 3.0 for eggs. It is concluded that the higher weight loss of eggs, egg wizening and an arrested development of embryo resulted from lower humidity are the main lethal factors of eggs.

Key words: *Cnaphalocrocis medinalis*; egg; temperature; relative humidity; developmental duration; egg hatchability; embryonic development

基金项目：公益性行业（农业）科研专项（200903051）
作者简介：方源松，男，1988 年生，浙江金华人，硕士研究生，主要从事昆虫生态方面的研究，E-mail：2010102103@njau.edu.cn
* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: liuxd@njau.edu.cn
收稿日期 Received: 2013-04-12；接受日期 Accepted: 2013-05-30

稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis*（Guenée）发生在夏季高温季节，温湿度对种群的影响较大。当温度在 20～32℃之间时，卵的孵化率、世代存活率和成虫产卵量均在 26℃下最高，并且以 25.5℃下种群增长指数最大，温度高于 29℃后成虫的产卵量和卵孵化率显著下降（吴进才和张孝羲，1984）。稻纵卷叶螟种群在我国东半部春、夏季有明显的由南向北的迁飞过程（张孝羲等，1980b），并且夏季的北迁主要由高温所引起，日均温逐渐上升到 28.2℃时羽化后 3 d 的成虫中有 50% 的个体卵巢发育仍保持在 1～2 级初期，呈现出迁飞的生理状态（吴进才，1985）。但是，异常的高温干旱又会抑制成虫的迁飞，如日均温 31℃以上且无降雨时会迫使稻纵卷叶螟成虫居留（常彭阳，1990）。南京地区稻纵卷叶螟第 3 代成虫的产卵量与其发育期间的平均气温和平均相对湿度密切相关，平均温度 26℃、平均相对湿度 80% 时产卵量高，且性比有随温度升高而升高的趋势（顾海南和张孝羲，1987）。成虫的怀卵量也受温度和湿度的影响，温度在 20.6～28.5℃、湿度在 81.3%～91.5% 下，雌蛾怀卵量高且成熟快，并且高温低湿或适温低湿条件均不利于该虫的发育，在适温和高湿条件下才能正常发育和繁殖（罗盛富和黄志农，1983）。高湿有利于稻纵卷叶螟产卵，蛾高峰前后 3 d 的湿度、总雨日、温湿系数与安徽凤阳 3 代稻纵卷叶螟田间落卵量呈显著的正相关（费惠新等，1995）。虽然温、湿度对稻纵卷叶螟的存活和繁殖的影响已有一些研究，并且也发现在夏季高温季节，田间稻纵卷叶螟的卵粒多为干瘪型，从而大大抑制了种群的增长。但是，这种干瘪型卵是高温所致，还是高温和干旱双重作用后的结果，尚未见报道。温度和湿度往往同时联合作用于昆虫种群，但是目前有关湿度与温度联合作用下稻纵卷叶螟卵的发育与存活情况还缺少系统的研究。因此，本实验在 22～37℃、相对湿度 46%～100% 范围内设置了不同的温度和湿度组合，研究了卵在各组合中的发育历期、孵化率和重量的损失等，以期阐明稻纵卷叶螟卵对温湿度的要求，从而为该虫的预测与防控提供指导。

1　材料和方法

1.1　供试虫源

稻纵卷叶螟幼虫于 2010 年 9 月采于南京农业大学江浦实验农场的稻田，在室内用新鲜稻叶饲养 3 代后，转移到 2～4 叶期的玉米苗上，按照廖怀建等（2012）提出的方法进行饲养。成虫羽化后产卵于塑料薄膜上，该卵即作为本实验的试虫。

1.2　湿度的调控方法

湿度采用盐溶液法进行调控。将饱和碳酸钾、氢氧化钾（29.8%）、饱和氯化钠、饱和氯化钾和水置于玻璃干燥器底部，用于调控干燥器内的湿度。干燥器置于 22～37℃的光照培养箱内。由于盐浓液调控的湿度在不同温度下会发生细微变化，因此，实验时用温湿度自动记录仪 S100（深圳华图有限公司）实时记录干燥器内的相对湿度和温度。不同盐溶液在不同温度下所对应的相对湿度如表 1 所示。由表 1 可知，本实验调控出的实际湿度梯度为 5 个：46%～51%，64%～66%，77%～82%，86%～89% 和 100%。

1.3　不同温湿度下稻纵卷叶螟卵孵化情况的观察

将同一晚上所产的稻纵卷叶螟卵用塑料杯装好后，置于不同温度与湿度组合下的干燥器中，光周期为 14L∶10D。每个温湿度处理设 7～9 个重复，每重复 30 粒卵。每天上午 9 时、下午 15 时和晚上 21 时即光期 1，7 和 13 h 时分别调查卵孵化情况 1 次，调查直到每温湿度处理中不再有卵孵化为止。

表 1　本文所设的温度和相对湿度组合

Table 1　Combinations of temperature and relative humidity (RH) designed in this study

盐溶液 Salt solution	湿度梯度 Humidity gradient	RH (%)					
		22℃	25℃	28℃	31℃	34℃	37℃
饱和碳酸钾 Saturated KCO_3	46%－51%	46	47	48	49	50	51
29.8% 氢氧化钾 29.8% KOH	64%－66%	64	64	65	65	66	66
饱和氯化钠 Saturated NaCl	77%－82%	77	78	79	80	81	82
饱和氯化钾 Saturated KCl	86%－89%	86	86	87	87	88	89
纯水 H_2O	100%	100	100	100	100	100	100

1.4 稻纵卷叶螟卵在不同温湿度下的重量变化及胚胎发育观察

将附有同一晚上所产稻纵卷叶螟卵粒的薄膜置于微量天平(METTLER TOLEDO，精度为十万分之一克)上称重并计数卵粒数量后，分别编号，置于25℃，34℃和37℃下的46%~51%和100%两个湿度的干燥器内。以后每天称重一次，以第3天的重量与起始重量的差值除以总卵数作为卵粒重量的损失量。每天16：00时在带成像系统的体视解剖镜(OLMPUS-SZ16)下观察各温湿度下卵胚胎的发育状况并拍照，观察直至卵粒孵化为止。

1.5 数据分析

由于37℃下各湿度中均无卵孵化，因此该温度处理不参与统计比较。根据有效积温法则 $K=N(T-C)$ 公式，其中 K 为有效积温，N 为发育历期，T 为环境温度，C 为发育起点温度，采用最小二乘法计算稻纵卷叶螟卵在77%~100%内的3个湿度梯度下的发育起点温度和有效积温，并以3个湿度下的平均值作为卵的发育起点温度和有效积温值，以增强其在田间使用时的代表性，因为田间湿度常是变动的。不同温度和湿度下的稻纵卷叶螟卵孵化率经反正弦转换后进行 Tukey 氏 HSD 检验。不同温度和湿度下的卵发育历期及卵重量损失量采用 Tukey 氏 HSD 检验。两湿度下卵重损失量的差异比较采用 T 检验。所有统计分析均在 SAS 9.0 进行。以湿度与温度的比值(RH/T)作为温湿系数，温湿系数与卵孵化率间的关系模型在 Origin 8.0 软件中进行拟合和作图。

2 结果与分析

2.1 不同温湿度下稻纵卷叶螟卵的历期

由表2可知，温度在22~31℃间，随着湿度的升高，稻纵卷叶螟卵的发育历期显著缩短(22℃：$F_{4,26}=9.4$，$P<0.0001$；25℃：$F_{4,39}=52.0$，$P<0.0001$；28℃：$F_{3,28}=4.0$，$P=0.0166$；31℃：$F_{3,24}=12.6$，$P<0.0001$)。相对湿度高于77%后，卵历期主要受温度高低的影响，而与湿度的变化关系不大。在34℃下稻纵卷叶螟卵历期在高于64%的各相对湿度间无显著差异($F_{3,20}=1.0$，$P=0.408$)。相对湿度为46%~51%、温度为28~37℃下卵均不能孵化，且当温度达到37℃后，无论在低湿还是高湿条件下卵也均不能孵化。在21~34℃之间，稻纵卷叶螟卵的发育历期随温度的升高而显著缩短，在相对湿度为77%~82%，86%~89%和100%条件下测定出卵的发育起点温度分别为9.4，10.5和10.3℃，而有效积温分别为67.8，62.0和61.4日度。因此，稻纵卷叶螟卵的发育起点温度约为10.1±0.6℃和63.7±3.5日度。

2.2 不同温湿度下稻纵卷叶螟卵的孵化率

由表3可知，在相同温度下，随着湿度的升高稻纵卷叶螟卵的孵化率显著增大(22℃：$F_{4,30}=20.7$，$P<0.0001$；25℃：$F_{4,40}=37.7$，$P<0.0001$；28℃：$F_{4,35}=96.4$，$P<0.0001$；31℃：$F_{4,30}=286.8$，$P<0.0001$；34℃：$F_{4,30}=92.4$，$P<0.0001$)。在22℃下，64%~100%的相对湿度间卵孵化率无显著差异，但湿度降至46%时，卵孵化率显著降低且仅为9%左右。温度在25~31℃时，在77%~100%的各湿度间孵化率无显著差异，且显著高于46%~66%湿度下的孵化率。温度为34℃时，86%以上的相对湿度下卵的孵化率最高，而在37℃下卵均不能孵化。温度在25~31℃、相对湿度在77%~100%之间，稻纵卷叶螟的卵孵化率最高且在温湿度各组合间无显著差异，因此，该温湿度范围是稻纵卷叶螟卵的最适宜温湿度范围。

表2 不同温湿度下稻纵卷叶螟卵的发育历期

Table 2 Developmental duration of eggs of *Cnaphalocrocis medinalis* under different temperature and humidity

湿度梯度 Humidity gradient	发育历期 Developmental duration (d) 22℃	25℃	28℃	31℃	34℃	37℃
46%-51%	6.14±0.23 a	4.87±0.04 a	NH	NH	NH	NH
64%-66%	5.87±0.05 ab	4.85±0.05 a	3.53±0.38 a	3.23±0.11 a	2.88±0.08 a	NH
77%-82%	5.59±0.10 bc	4.34±0.17 b	3.45±0.21 ab	3.05±0.14 b	2.92±0.20 a	NH
86%-89%	5.41±0.34 c	4.48±0.20 b	3.25±0.27 ab	2.95±0.08 b	2.83±0.05 a	NH
100%	5.52±0.19 c	4.11±0.11 c	3.11±0.15 b	2.94±0.06 b	2.82±0.03 a	NH

表中的数据为平均值±标准差；同列数据后不同字母表示差异显著(Tukey 氏 HSD 检验，$P\leqslant 0.05$)。The data are mean ± *SD*, and those followed by different letters in the same column are significantly different by Tukey's HSD method at the 0.05 level. NH：卵没有孵化 No eggs hatched.

表 3　不同温湿度下稻纵卷叶螟卵的孵化率

Table 3　The hatch rate of eggs of *Cnaphalocrocis medinalis* under different temperature and humidity

湿度梯度 Humidity gradient	卵孵化率 Hatch rate of eggs (%)					
	22℃	25℃	28℃	31℃	34℃	37℃
46%-51%	9.05 ±19.69 Bab	21.85 ±17.01 Ca	0.00 ±0.00 Cb	0.00 ±0.00 Cb	0.00 ±0.00 Cb	0
64%-66%	67.62 ±26.37 Aa	67.78 ±9.57 Ba	41.00 ±22.74 Bb	20.48 ±13.67 Bbc	6.67 ±10.36 Cc	0
77%-82%	84.95 ±20.20 Aab	74.40 ±12.78 ABab	88.01 ±8.44 Aa	90.35 ±6.44 Aa	64.73 ±18.28 Bb	0
86%-89%	80.62 ±21.19 Aa	81.85 ±15.04 ABa	88.70 ±7.93 Aa	95.70 ±3.70 Aa	78.29 ±10.17 ABa	0
100%	94.62 ±3.86 Aab	89.26 ±8.30 Aab	94.58 ±6.89 Aab	95.68 ±4.62 Aa	84.55 ±8.59 Ab	0

表中数据为平均值 ± 标准差；同行数据后不同小写字母和同列数据后不同大写字母表示差异显著（Tukey 氏 HSD 检验，$P \leqslant 0.05$）。The data are mean ± *SD*, and those followed by different small letters in the same row and different capital letters in the same column are significantly different by Tukey's HSD method at the 0.05 level, respectively.

由图 1 可知，温湿度对稻纵卷叶螟卵孵化率的影响可较好地用温湿系数来衡量，孵化率(Y)与温湿系数(RH/T)间呈显著的逻辑斯蒂曲线关系(图 1)，其关系模型为：$Y = 0.8662/[1 + \exp(17.4084 - 7.5714 \times RH/T)]$ ($R^2 = 0.8371$，$P = 0.02254$)。该模型显示稻纵卷叶螟卵在适宜温湿度条件下的平均最大孵化率在 86.6% 左右；50% 的卵孵化的温湿系数值为 2.34，超过该值后孵化率将急剧上升，温湿系数超过 3.0 以后孵化率接近最大值。

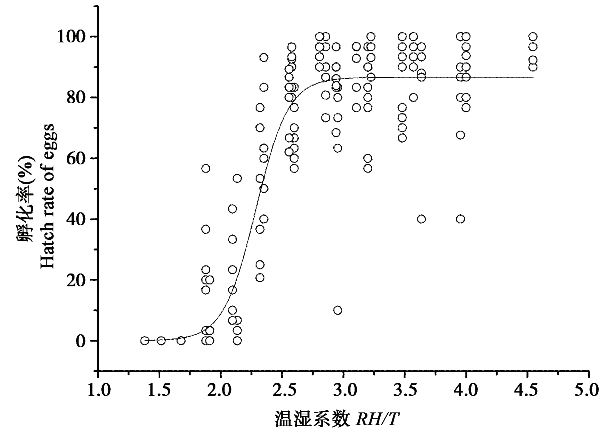


图 1　温湿系数(RH/T)与稻纵卷叶螟卵孵化率间的关系

Fig. 1　Relationship between hatch rate of eggs of *Cnaphalocrocis medinalis* and the coefficient of RH/T

2.3　不同温湿度下卵重的损失量与胚胎发育的观察

由图 2 可知，在高温低湿条件下，稻纵卷叶螟卵粒的重量显著下降(图 2)，34℃ 和 37℃ 下 3 d 内每卵损失重量在低湿度(RH 46%～51%)条件下显著和极显著地高于高湿度(RH 100%)条件(34℃：$t = 2.81$，$P = 0.023$；37℃：$t = 4.546$，$P = 0.001$)，但在 25℃ 下，两湿度对卵重的影响无显著差异($t = 1.79$，$P = 0.107$)。在相同湿度下，不同温度(25～37℃)间卵重的损失量无显著差异(46%～51% RH：$F_{2,11} = 2.4$，$P = 0.141$；100% RH：$F_{2,15} = 0.7$，$P = 0.494$)。

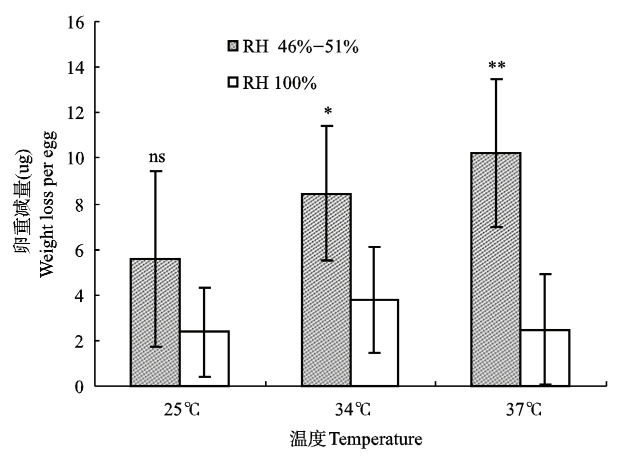


图 2　稻纵卷叶螟卵在不同温度和湿度下放置 3 d 后的重量损失量

Fig. 2　The weight loss per egg of *Cnaphalocrocis medinalis* under different temperature and humidity for 3 days

柱上星号和双星号表示相同温度下两湿度间经 T 检验差异显著($P < 0.05$)和极显著($P < 0.01$)，ns 表示湿度间差异不显著($P > 0.05$)。The asterisk and double asterisk mean significant difference between two humidity by student T test at the 0.05 and 0.01 level, respectively, and ns means no significant difference at the 0.05 level.

观察不同温湿度组合下稻纵卷叶螟卵经历不同时间后的胚胎发育特征，结果表明，温度为 25℃ 时，低湿(RH 47%～51%)条件下卵发育变缓，极少部分卵可以孵化，但历期延长，多数卵发育 130 h 时卵内幼虫已成型，但幼虫不能正常破卵而死于卵中(图 3：A)，而在 80% 相对湿度下发育 109 h 时，幼虫已发育完成并能破卵而出(图 3：B)。在

37℃高温条下，卵在 51% 低湿环境中经历 100 h 时，整个卵粒表面呈现蜂窝状、干瘪变黑，表现出严重失水的症状(图 3：C)，而在 100% 的高湿环境中经历 100 h 后，卵粒虽然还较为饱满，但胚胎基本不发育，且卵内没有出现成型的幼虫，所有卵均不能孵化(图 3：D)。

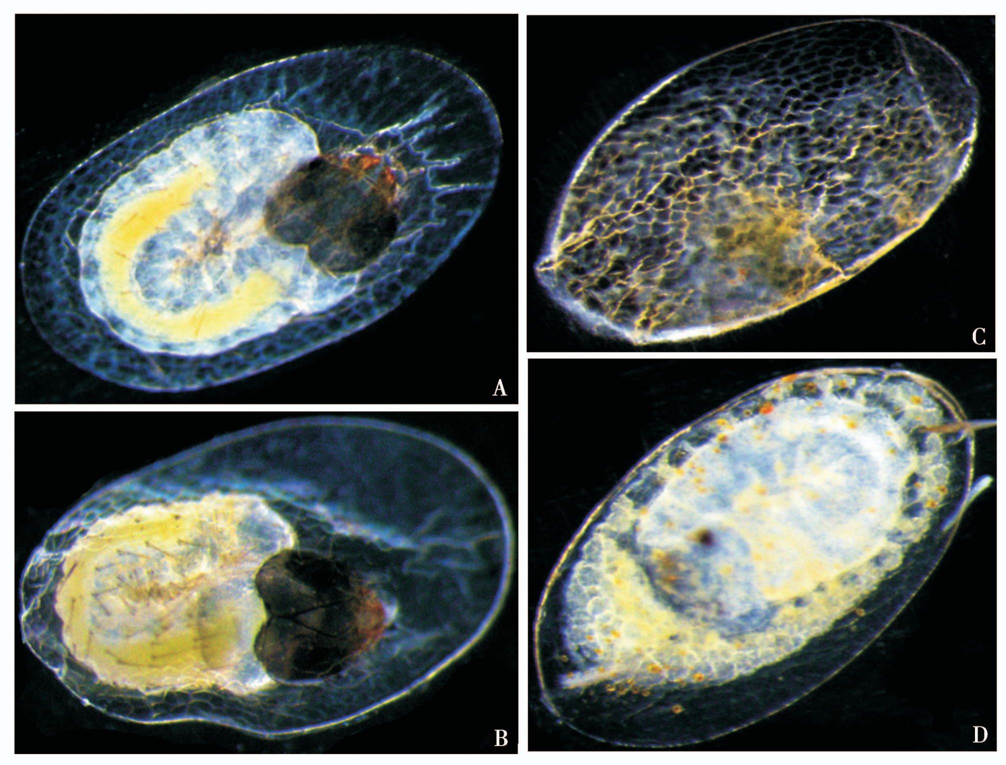


图 3　不同温度和相对湿度下稻纵卷叶螟卵胚胎发育特征

Fig. 3　Embryonic development of eggs of *Cnaphalocrocis medinalis* under different temperature and relative humidity

A: 25℃, 47% RH, 130 h; B: 25℃, 80% RH, 109 h; C: 37℃, 51% RH, 100 h; D: 37℃, 100% RH, 100 h.

3　讨论

本研究表明，湿度不仅影响了稻纵卷叶螟卵的发育历期，而且影响了卵的孵化。高湿条件下稻纵卷叶螟卵的发育速率加快，孵化率升高。因此，如果夏季雨水丰沛，相对湿度较高，则有利于稻纵卷叶螟的发生。广聚萤叶甲 *Ophraella communa* 卵历期也表现为随着湿度的增加而缩短(Zhou *et al*., 2010)。在 25.7℃下，相对湿度在 70%~100% 之间时，稻纵卷叶螟卵的孵化率在 90%~100% 之间，而湿度为 60% 时，孵化率为 80% 左右，并且搁田后初孵幼虫的死亡率很高(张孝羲等，1980a)。本研究发现在温度为 22~31℃和相对湿度为 77%~100% 范围内，稻纵卷叶螟卵的孵化率高，且不随温湿度的变化而变化。这一研究结果与前人的相符。同时，本研究还得出了不同湿度下稻纵卷叶螟卵的发育起点温度和有效积温，这可指导不同湿度条件下稻纵卷叶螟的发生期预测。

本研究表明，温湿系数(*RH/T*)与稻纵卷叶螟卵的孵化率间呈逻辑斯蒂曲线关系，温湿系数增大，卵孵化率提高，且当温湿系数达到 3.0 左右时，孵化率接近最高值，表现出了湿度和温度对卵的联合作用。温湿度共同影响昆虫存活和繁殖的现象较为普遍。当温度低于 18℃或者高于 35℃时狭翅雏蝗卵的孵化率为 0；在 30℃下土壤含水率低于 5% 和高于 18% 时，卵化率也为 0(王智翔等，1988)。具尾扇头蜱 *Rhipicephalus appendiculatus* Neumann 卵最适宜的孵化温湿度是 16~34℃和 60%~70%，超出这一区间卵孵化会明显受限(Tukahirwa，1976)。欧洲室尘螨 *Dermatophagoides pteronyssinus* 喜高温高湿条件，卵在 10℃和 55% 湿度下死亡率接近 99%，而在 35℃和 85% 湿度时死亡率只有 6% (Colloff, 1987)。亚洲玉米螟雌成虫在 24℃和 100% 湿度组合中的单雌平均产卵量达 732 粒，而在 32℃和 20% 的温湿度组合中却下降到只产 9 粒(文丽萍

等，1998）。在60%的湿度下，温度为30℃时西非花生豆象 *Callosobruchus subinnotatus* 单雌平均产卵量为16.2粒，而40℃时却下降到只有0.3粒（Lale and Vidal，2003）。锯谷盗 *Oryzaephilus surinamensis*（L.）死亡率随着温度的上升而增大，但随着湿度的升高而降低（Arthur，2000）。本研究发现稻纵卷叶螟卵在温度高于28℃且湿度低于48%时均不能孵化，并且当温度达到37℃时，无论在何种湿度下也不能孵化。因此，可确出稻纵卷叶螟卵的高温阈值为37℃，低湿阈值为48%。由此，可根据温度和湿度绝对值的高低及温湿系数的大小来对稻纵卷叶螟发生程度进行预测。

本研究表明，湿度对稻纵卷叶螟卵发育与存活的影响主要是由卵内水分过度损失所致。在高温低湿条件下，稻纵卷叶螟卵失水而呈蜂窝状和变黑，胚胎会因缺水而不能正常发育。同时，卵内水压不足时，发育成型的幼虫也难破卵而出，从而导致了高的死亡率。夏季高温条件下稻纵卷叶螟卵多为干瘪的现象，这不仅与卵未正常授精有关，而且与干旱失水较多关系密切。夏季的高温干旱不利于稻纵卷叶螟种群的发展。

参考文献（References）

Arthur FH, 2000. Immediate and delayed mortality of *Oryzaephilus surinamensis* (L.) exposed on wheat treated with diatomaceous earth: effects of temperature, relative humidity, and exposure interval. *J. Stored Prod. Res.*, 3(1): 13–21.

Chang PY, 1990. Influence of abnormal high temperature and drought on the migration of rice leaf folder. *Entomological Knowledge*, 27(4): 195–197. [常彭阳，1990. 异常高温干旱对稻纵卷叶螟迁飞的影响. 昆虫知识，27(4)：195–197]

Colloff MJ, 1987. Effects of temperature and relative humidity on development times and mortality of eggs from laboratory and wild populations of the European house-dust. *Exp. Appl. Acarol.*, 3(4): 279–289.

Fei HX, Su QL, Zhang XX, 1995. The effects of immigrated population and climatic factors on field population dynamics of rice caseworm. *Acta Phytophylacica Sinica*, 22(3): 193–197. [费惠新，苏庆龄，张孝羲，1995. 迁飞种群和气候因子对稻纵卷叶螟田间种群动态的影响. 植物保护学报，22(3)：193–197]

Gu HN, Zhang XX, 1987. On the reproductive characteristics of rice leaf-roller, *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée, in natural conditions. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 10(4): 37–41. [顾海南，张孝羲，1987. 自然条件下稻纵卷叶螟的繁殖特性. 南京农业大学学报，10(4)：37–41]

Lale NES, Vidal S, 2003. Effect of constant temperature and humidity on oviposition and development of *Callosobruchus maculatus* (F.) and *Callosobruchus subinnotatus* (Pic) on bambara groundnut, *Vigna subterranea* (L.) Verdcourt. *J. Stored Prod. Res.*, 39(5): 459–470.

Liao HJ, Huang JR, Liu XD, 2012. The method for mass rearing of rice leaf folder *Cnaphalocrocis medinalis* using maize seedlings. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 49(4): 1078–1082. [廖怀建，黄建荣，刘向东，2012. 利用玉米苗饲养稻纵卷叶螟的方法. 应用昆虫学报，49(4)：1078–1082]

Luo SF, Huang ZN, 1983. Study on the biological characteristics of rice leaf folder. *Entomological Knowledge*, 20(1): 7–11. [罗盛富，黄志农，1983. 稻纵卷叶螟生物学特性研究. 昆虫知识，20(1)：7–11]

Tukahirwa EM, 1976. The effects of temperature and relative humidity on the development of *Rhipicephalus appendiculatus* Neumann (Acarina, Ixodidae). *Bull. Entomol. Res.*, 66(2): 301–312.

Wang ZX, Chen YL, Ma SJ, 1988. The influence of temperature and humidity on the experimental population of *Chorthippus dubius* (Zub.). *Acta Ecologica Sinica*, 8(2): 125–132. [王智翔，陈永林，马世骏，1988. 温、湿度对狭翅雏蝗 *Chorthippus dubius* (Zub.)实验种群的影响. 生态学报，8(2)：125–132]

Wen LP, Wang ZY, Song YY, He KL, Gao YX, 1998. Effects of different combinations of temperature and humidity on fecundity and longevity of the adult Asian corn borer. *Acta Entomologica Sinica*, 41(1): 70–76. [文丽萍，王振营，宋彦英，何康来，高云霞，1998. 温、湿度对亚洲玉米螟成虫繁殖力及寿命的影响. 昆虫学报，41(1)：70–76]

Wu JC, 1985. Effect of changing photoperiod, temperature and food quality on the migration of rice leaf roller *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée. *Acta Entomologica Sinica*, 28(4): 398–405. [吴进才，1985. 光照、温度及食物的变化对稻纵卷叶螟迁飞的效应. 昆虫学报，28(4)：398–405]

Wu JC, Zhang XX, 1984. Effects of temperature on the growth and the development of experimental populations of the rice leaf roller *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 7(4): 19–28. [吴进才，张孝羲，1984. 温度对稻纵卷叶螟实验种群生长、发育的影响. 南京农学院学报，7(4)：19–28]

Zhang XX, Geng JG, Lu ZQ, Liu WJ, 1980a. Studies on biological and ecological characteristics of rice leaf folder. *Entomological Knowledge*, 17(6): 241–245. [张孝羲，耿济国，陆自强，刘文娟，1980a. 稻纵卷叶螟生物学生态学特性研究初报. 昆虫知识，17(6)：241–24]

Zhang XX, Lu ZQ, Geng JG, Li GZ, Chen XL, Wu XW, 1980b. Studies on the migration of rice leaf roller *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée. *Acta Entomologica Sinica*, 23(2): 130–140. [张孝羲，陆自强，耿济国，李国柱，陈学礼，吴学文，1980b. 稻纵卷叶螟迁飞途径的研究. 昆虫学报，23(2)：130–140]

Zhou ZS, Guo JY, Chen HS, Wan FH, 2010. Effect of humidity on the development and fecundity of *Ophraella communa* (Coleoptera: Chrysomelidae). *BioControl*, 55(2): 313–319.

（责任编辑：袁德成）